

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-268197

(43)Date of publication of application : 09.10.1998

(51)Int.Cl. G02B 21/00
G02B 21/14

(21)Application number : 08-247778

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 19.09.1996

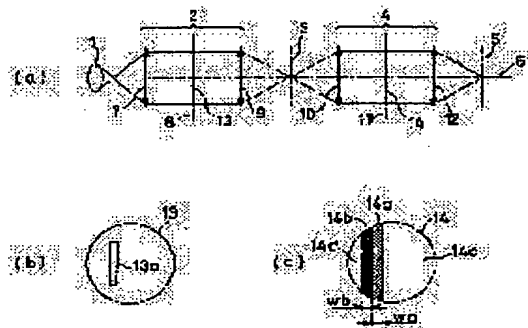
(72)Inventor : TAKAOKA HIDEYUKI

(54) OPTICAL MICROSCOPE WITH OPTICAL CONTROL MEMBER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical microscope having a high level of the detection sensitivity of the phase difference observation method, realizing a three-dimensional feeling of an image in the modulated contrast observation method, regarding the observation of a transparent phase object or the like.

SOLUTION: Regarding a modulated contrast microscope having at least four zones on an optical control member 14, the zones are made of a first photoabsorption zone 14a with a transmission factor T_a , a second photoabsorption zone 14b with a transmission factor T_b , a first transmission zone 14c with a transmission factor T_c and a second transmission zone 14d with a transmission factor T_d . At the same time, the relationship of $T_b < T_a < T_c$, $T_a < T_d$, $T_c > 0.5$, and $T_d > 0.5$ is satisfied, and at least one zone on the optical control member 14 has a phase change effect. The second transmission zone 14d relative to the second photoabsorption zone 14b in this case is provided, so as to be adjacent thereto at the opposite side of the first photoabsorption zone 14a.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-268197

(43) 公開日 平成10年(1998)10月9日

(51) Int. Cl. °
G02B 21/00
21/14

識別記号 庁内整理番号

F I
G02B 21/00
21/14

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全14頁)

(21) 出願番号 特願平8-247778

(22) 出願日 平成8年(1996)9月19日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 高岡 秀行

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

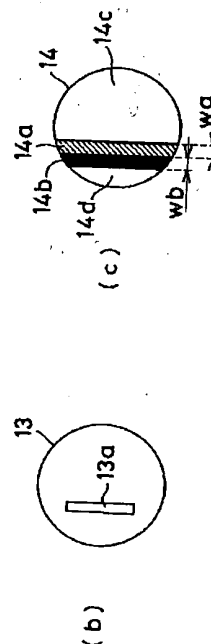
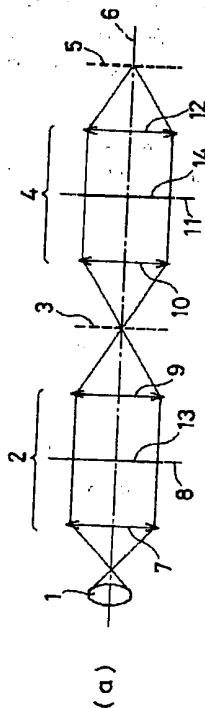
(74) 代理人 弁理士 篠原 泰司

(54) 【発明の名称】 光制御部材を有する光学顕微鏡

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 透明な位相物体等の観察において、変調コントラスト観察法の立体感のある像を実現しながらも、位相差観察法の検出感度の高さを持ち合わせた光学顕微鏡を提供する。

【解決手段】 光制御部材14上には少なくとも4つの領域を有する変調コントラスト顕微鏡において、この領域は、透過率Taである第1の光吸収領域14aと、透過率Tbである第2の光吸収領域14bと、透過率Tcである第1の透過領域14cと、透過率Tdである第2の透過領域14dとから成っていて、 $Tb < Ta < Tc$ 、 $Ta < Td$ 、 $Tc > 0.5$ 、 $Td > 0.5$ を満たし、光制御部材14上の少なくとも1つの領域が位相変化作用を有し、第2の透過領域14dを、第2の光吸収領域14bに対して第1の光吸収領域14aとほぼ反対側に、第2の光吸収領域14bに接するように配置されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光源と、標本を照明するための照明光学系と、前記照明光学系の瞳位置またはその近傍に配置した開口と、標本を拡大して観察するための、対物レンズを含む結像光学系と、前記結像光学系の瞳位置またはその近傍に配置した光制御部材とを有し、該光制御部材上には少なくとも4つの領域を有する変調コントラスト顕微鏡において、

前記領域は、

前記開口と共役な領域の全部もしくは一部を包含し透過率 T_a である第1の光吸収領域と、

前記第1の光吸収領域に隣接して配置され透過率 T_b である第2の光吸収領域と、

前記第1の光吸収領域に隣接して配置され透過率 T_c である第1の透過領域と、

透過率 T_d である第2の透過領域とから成っていて、

$$T_b < T_a < T_c$$

$$T_a < T_d$$

$$T_c > 0.5$$

$$T_d > 0.5$$

を満たし、

前記光制御部材上の少なくとも1つの領域が位相変化作用を有し、

前記第2の透過領域を、前記第2の光吸収領域に対して前記第1の光吸収領域とほぼ反対側に、前記第2の光吸収領域に接するように配置したことを特徴とする光学顕微鏡。

【請求項2】 光源と、標本を照明するための照明光学系と、前記照明光学系の瞳位置またはその近傍に配置した開口と、標本を拡大して観察するための、対物レンズを含む結像光学系と、前記結像光学系の瞳位置またはその近傍に光制御部材を有する光学顕微鏡において、前記開口は、光軸を中心としたリングの一部を覆った形状であり、

前記開口の最も内側を通る光線が標本面において取り得る開口数を NA_c 、使用する複数の対物レンズの各々の開口数のうち最小値を NA_o としたとき、

$$NA_c > 0.7 NA_o$$

が成立し、

前記光制御部材上には、前記開口と共役な領域を包含し光軸を中心としたリング形状の位相変化作用を有する光吸収領域を配置し、

使用する複数の異なる倍率の対物レンズに対して、1つだけの前記開口を共通に使用して偏斜照明観察を行なうようにしたことを特徴とする光学顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光制御部材を有する光学顕微鏡に関する。

【0002】

【従来の技術】 生体細胞のような無色透明な位相標本を光学顕微鏡で観察する場合、通常の明視野観察によつては、その構造を確認することができない。位相標本を可視化する観察法としては様々な手法が知られている。代表的な観察法としては、位相差観察法、変調コントラスト観察法、微分干渉観察法等が挙げられる。

【0003】 位相差観察法は、顕微鏡の照明光学系の瞳位置にリングスリットを配置し、結像光学系の瞳上にリングスリットと共役な形状の位相膜を配置するものである。通常、位相構造からの回折光の位相は0次光に対して $\pi/2$ だけずれており、このままでは白黒のコントラストのついた像を結ばないため、0次光と回折光との位相差を打ち消すように0次光の通過する領域に位相膜が設けられる。

【0004】 一般的には、0次光強度が回折光強度より大きいため、位相膜に適当な大きさの光吸収力を与えてコントラストを高めている。この観察法の長所は、人間の屈折率差が小さい標本や、細胞内の顆粒状の微小構造等においても、高い検出感度で鮮明なコントラストのついた観察像を得ることができる点である。一方、短所としては、構造の端部等が白く光って見える、ハローと呼ばれる現象により、構造の輪郭が確認しにくい点が挙げられる。

【0005】 一方、変調コントラスト観察法は、特開昭51-128548号に開示されているように、顕微鏡の照明光学系の瞳位置にスリットを配置し、結像光学系の瞳上には透過率の異なる領域を複数配置するものである。通常、スリットと共役な領域に適当な透過率をもつ吸収膜を配置し、それに隣接した一方の側を透過領域、もう一方の側を遮光領域とする。瞳上では標本内の構造による屈折の大小により、光の通過する領域が異なり、それに伴って透過率も変化するため像に白黒の影をつけて観察することができる。この観察法の長所は、安価構成により位相物体に陰影をつけて立体感のある観察像を得ることができる点である。また、位相差観察法で見られるハローが無いため、構造の輪郭を観察しやすく細胞等のマニピュレーションに適している。一方、短所としては、位相差観察法に比べ検出感度が劣り、微小構造が確認しにくいことが挙げられる。また、対物レンズを交換するたびにスリットと吸収膜の向きを合わせる煩雑な操作が必要となる。

【0006】 微分干渉観察法は、複屈折結晶により生じた直交する2偏光を標本面上に僅かにずらして照射し、これらを干渉させることで標本の微小な構造を観察するものである。この観察法の長所は、非常に高いコントラストで、位相標本に立体感をつけて観察することができる点である。一方、短所としては、複屈折結晶を使用するため装置が高価となることと、偏光を用いた観察であるため標本が偏光状態に影響を与えるような物質から成る場合には正確な観察像が得られないことである。また

一般に、生体試料等の観察で使い捨て容器として頻繁に用いられるプラスチックシャーレ等はプラスチックの複屈折により偏光を乱すため、微分干渉観察法はプラスチック容器に入った標本の観察には不適である。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 上述したように、位相標本を観察するための各手法には一長一短があるため、それぞれの長所を持ち合わせ、欠点を排除した観察方法が求められる。特に、生体試料等の検査やマニピュレーション等を顕微鏡下で行う場合には、透明な微小構造も高感度で検出する必要がある。さらに微小物等の正確な操作を行うため構造の輪郭も明瞭でなければならない。また試料や容器の偏光特性にとらわれない柔軟な観察が行えることも重要である。一方、顕微鏡観察では標本内の目的の構造を探するため、対物レンズの変換が頻繁に行われるが、それにともなう開口の交換作業などの煩雑な光学系の調整操作を極力排除して、検査やマニピュレーションを容易に効率よく行えることが求められる。

【0008】 以上のような要求を満たし、かつ安価な観察法を実現するためには、従来の変調コントラスト観察法と位相差観察法とを組み合わせることが考えられる。これに関連する例を以下に挙げる。特開昭57-178212号の実施例には、光軸外に直線状開口を配置し、これと共役な結像光学系の瞳面上に光吸収効果のある位相膜を設け、結像に寄与する回折光を0次光に対して片

$$E'(x) = 1 + (A/2) \exp(2\pi i p x) + (A/2) \exp(-2\pi i p x) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、-1次光を遮断すると、

$$E''(x) = 1 + (A/2) \exp(2\pi i p x) \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。式(1)、(2)のそれぞれの強度 I' (x)、 I'' (x) は、

$$I'(x) = |E'(x)|^2 \approx 1 + 2A \cos(2\pi p x) \quad \dots\dots (3)$$

$$I''(x) = |E''(x)|^2 \approx 1 + A \cos(2\pi p x) \quad \dots\dots (4)$$

で与えられる。従って、±1次光のうち一方を遮光すると(4)、遮光しない場合(3)に比べてコントラストがおよそ1/2に低下してしまう。よって、特開昭57-178212に開示されている構成によっては、変調コントラスト効果は得られるものの、位相差観察法本来の高い検出感度は得られない。

【0011】 一般に、変調コントラスト法では、結像光学系の瞳上では標本からの光のうち、標本によって屈折されない直接光に対して、一方の側に屈折された全ての屈折光の透過率を低下させる、或いはほぼ遮光するように吸収膜が配置される。これは、標本による屈折の方向により明暗を付けることで位相物体の屈折率の変化している部分のコントラストをつけるものである。特開昭51-128548においては、変調コントラスト法で用いられる光制御部材上の光吸収領域の透過率分布の一例が示されているが、光制御部材上の直接光が通過する領域が中心に設けられ、この領域に接する片側領域全部が透過率の低い領域となっている。このような構成の場

側だけとする構成が記載されている。また、別の実施例として、この位相膜に接する領域のうち、光軸外方向に接している領域の透過率を低くして、やはり結像に寄与する回折光を0次光に対して片側だけとする構成が記載されている。一般に、0次光に対して片側の回折光を全て遮断すると観察像のコントラストが低くなる。例えば、位相分布が周期1/pの正弦波状である薄い平面位相物体を考える。この物体を通過した光の等位相面φ(x)は次のように与えられる。

$$【0009】 \phi(x) = A \cos(2\pi p x)$$

ここで、xは物体に平行な方向の座標であり、Aは位相分布の振幅である。このとき、この位相物体上の複素振幅分布E(x)は、

$$E(x) = \exp\{i\phi(x)\}$$

で与えられる。位相変化が小さいとして、A《1とおけば、

$$E(x) = 1 + iA \cos(2\pi p x) = 1 + (A/2) \exp(i\pi/2 + 2\pi i p x) + (A/2) \exp(i\pi/2 - 2\pi i p x)$$

となる。上の第1項が0次光、第2項が1次光、第3項が-1次光を表している。位相膜によって、0次光と±1次光との位相差π/2を打ち消すと、上式は以下のE'(x)と等価となる。

$$【0010】$$

合、位相物体のコントラストはつくものの、瞳面を通過する光束のほぼ半分を遮っているため、解像力が低下する。これに対処するため、一般には開口を光軸外に配置し、透過率の低い領域を狭めて瞳面を通過する光束を広げている。該特許では光制御部材上の各領域が位相変化作用を有することが出来るとしているが、やはりこの場合も、前述した特開昭57-178212と同じく、0次光に対して片側の回折光を遮る構成となるため、この構成で得られる位相差観察法の効果は低い。

【0012】 更に以上のような構成の場合、光制御部材上に構成される領域の配置が光軸に対して非対称となるため、対物レンズの交換毎に、開口と光制御部材の向きを合わせる調整作業が必要となる。具体的には、対物レンズ筒内の瞳面上に光制御部材を配置する場合、対物レンズをレボルバーに取り付ける際に各対物レンズについて必ずしも光制御部材の向きが一定方向には揃わないため、各対物レンズについて、その都度開口の向きを光制御部材の向きに一致させる作業が必要である。また、対

物レンズの倍率により開口が異なるので、対物レンズの変換とともに開口も変換する必要がある。顕微鏡による目視検査などでは、頻繁に観察倍率を切替えることがあり、そのたびに開口の変換作業を行なうことは非常に煩雑である。

【0013】米国特許第4407569号では、結像光学系の瞳面上に位相変化領域と光吸収領域を独立に設け、それぞれに対応する開口を適宜交換することにより、位相差観察と変調コントラスト観察を選択的に切替える構成となっている。したがって、位相差効果と変調コントラスト効果の両効果を同時には実現出来ない。該特許の実施例には、位相差観察用と変調コントラスト観察用の2つの開口を同一部材上に配置する構成も示されているが、この構成により両観察法の効果を同時に得ることは困難である。なぜならば、位相差観察用の開口からの0次光は位相変化を受けるが、変調コントラスト用の開口からの0次光は位相変化を受けないため、0次光と回折光との干渉効果が低くなるためである。たとえ、変調コントラスト観察用の光吸収領域にも位相変化作用を持たせたとしても、逆に回折光が位相変化を受ける領域が広がるため、この場合にも0次光と回折光との干渉効果は低くなる。

【0014】一方、位相差観察法に特有のハローを抑制するために、瞳面上で位相膜とは別の領域に吸収膜を設ける位相差顕微鏡が特開平8-94936に開示されているが、該位相差顕微鏡では変調コントラストの効果が得られることは示されておらず、また開口が輪帯状に限定されているため、実際にその効果は得られない。また、光制御部材上に配置される光吸収領域の幅や位置について具体的には明示されていないことから、特開平8-94936により位相差観察法と変調コントラスト法の両手法の効果を同時に得ることはできない。

【0015】これまで説明したように、従来から提案されている手法では、変調コントラスト観察法の立体感と位相差観察法の高い検出感度を両立させることはできなかった。対物レンズの変換に伴う開口の交換作業を軽減している例として、ライカ社のデルタオブティックスで

$$T_b < T_a < T_c$$

$$T_a < T_d$$

$$T_c > 0.5$$

$$T_d > 0.5$$

を満たし、光制御部材上の少なくとも1つの領域が位相変化作用を有し、第2の透過領域を、第2の光吸収領域に対して第1の光吸収領域とはほぼ反対側に、第2の光吸収領域に接するように配置したことを特徴としている。また、第2の目的を達成するための手段として、本発明の光学顕微鏡は、光源と、標本を照明するための照明光学系と、照明光学系の瞳位置またはその近傍に配置した

$$NA_c > 0.7 NA_o$$

が成立し、光制御部材上には、前記開口と共役な領域を

採用されている位相差用のリングスリットが挙げられる。このリングスリットは1種類で対物レンズ倍率10倍～40倍に対応しているため、それぞれの倍率の変換時においては、リングスリットの交換の必要がない。ただし、開口形状がリング状であるため、高倍率対物レンズの使用時には照明側の有効なNAが小さく解像力が低下する。またハローが強くなり構造の輪郭が検出し難くなる。

【0016】一方、解像力を高くするために照明リングスリット径を大きくすると、低倍率対物レンズ観察時に結像光学系の瞳面上で0次光が通過する領域が大きくなるため、コントラストが低下する等の問題があった。本発明は、従来の技術の有するこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その第1の目的は、透明な位相物体等の観察において、変調コントラスト観察法の立体感のある像を実現しながらも、位相差観察法の検出感度の高さを持ち合わせた光学顕微鏡を提供することである。また、本発明の第2の目的は、上記の観察法等を行なう際、その効果を損なうことなく、比較的広い範囲の倍率の各対物レンズに対して、照明光学系側の開口の切替え操作を不要として、観察者の手間を軽減することである。

【0017】

【課題を解決するための手段】上記の第1の目的を達成するため、本発明の光学顕微鏡は、光源と、標本を照明するための照明光学系と、照明光学系の瞳位置またはその近傍に配置した開口と、標本を拡大して観察するための、対物レンズを含む結像光学系と、結像光学系の瞳位置またはその近傍に配置した光制御部材とを有し、該光制御部材上には少なくとも4つの領域を有する変調コントラスト顕微鏡において、前記領域は、開口と共役な領域の全部もしくは一部を包含し透過率 T_a である第1の光吸収領域と、第1の光吸収領域に隣接して配置され透過率 T_b である第2の光吸収領域と、第1の光吸収領域に隣接して配置され透過率 T_c である第1の透過領域と、透過率 T_d である第2の透過領域とから成っている、

..... (5)

..... (6)

..... (7)

..... (8)

開口と、標本を拡大して観察するための、対物レンズを含む結像光学系と、結像光学系の瞳位置またはその近傍に光制御部材を有する光学顕微鏡において、前記開口は、光軸を中心としたリングの一部を覆った形状であり、前記開口の最も内側を通る光線が標本面において取り得る開口数を NA_c 、使用する複数の対物レンズの各々の開口数のうち最小値を NA_o としたとき、

..... (9)

包含し光軸を中心としたリング形状の位相変化作用を有

する光吸収領域を配置し、使用する複数の異なる倍率の対物レンズに対して、1つだけの開口を共通に使用して偏斜照明観察を行なうことを特徴としている。

【0018】

【発明の実施の形態】上記した第1の目的を達成するための手段における作用について、図を用いて説明する。図1は、本発明の光学顕微鏡の全体構成と主要な構成要素についての説明図である。図1(a)は、本発明の光学顕微鏡の全体構成を示したものであって、1は光源、2は照明光学系、3は標本、4は結像光学系、5は標本3の観察像、6は光軸、7はコレクタレンズ、8は照明光学系2の瞳位置、9はコンデンサレンズ、10は対物レンズ、11は結像光学系4の瞳位置、12は結像レンズ、13は開口部材、14は光制御部材である。本発明の光学顕微鏡は、照明光学系2の瞳位置8あるいはその近傍に配置した開口部材13と結像光学系4の瞳位置11あるいはその近傍に配置した光制御部材14との組合せによって、標本3の観察像5を得るものである。

【0019】図1(b)は開口部材13の一例を示したものであり、13aは光の通過する領域である開口を示している。図9(c)は図1(b)の開口13aの形状に対応した、従来の変調コントラスト観察法で一般に用いられている光制御部材14の一例を示したものである。領域14a'、14b'、14c'の透過率を順に Ta' 、 Tb' 、 Tc' とすると、通常、 $Tb' < Ta' < Tc'$ が満たされている。

【0020】一方、図1(c)は、本発明における光学顕微鏡において、図1(b)の開口に対応した光制御部材14の例を示したものである。この光制御部材14は、第1の光吸収領域14a、第2の光吸収領域14b、及び第1の透過領域14c、第2の透過領域14dを有し、それぞれの透過率 Ta 、 Tb 、 Tc 、 Td は上記した式(5)～(8)を満たす。

【0021】従来の変調コントラスト観察法においては、図9に示すように開口13aからの光のうち、標本3により屈折もしくは回折されなかった直接光は光制御部材14上の領域14a'内を通る。標本により屈折もしくは回折された光は、領域14a'に隣接する領域14b'もしくは14c'を通過する。このうち、領域14b'は領域14a'よりも透過率が低いため、領域14b'を通る光の強度は弱められる。一方、領域14c'は領域14a'よりも透過率が高いため、この領域を通る光の大部分が透過する。したがって、標本の屈折率分布などにコントラストがつく。すなわち、公知の変調コントラスト観察が行える。このことは、本発明において用いられる図1(c)の光制御部材についても言える。すなわち、図1(c)において、標本からの直接光は、領域14aを通り、14aの両側に配置された領域14b、14cにより、本発明の光制御部材においても

変調コントラスト効果が得られる。

【0022】ここで、領域14a'あるいは14aに位相変化作用を持たせることにより、上記の変調コントラスト観察像に、位相差観察の効果を加えることができる。このとき、従来の変調コントラスト法で用いられる図9(c)の光制御部材の領域14a'に位相変化作用を持たせた場合に比べ、本発明の図1(c)で領域14aに位相変化作用を持たせた場合は、図9(c)に比べて新たに第2の透過領域14dが設けられているため位相差効果が増す。これは、位相差観察法が、0次光と回折光との干渉により位相物体にコントラストをつける手法であり、図9(c)では0次光に対し片側の回折光しか干渉に寄与しないのに対して、図1(c)では両側に回折された光の各々について、瞳を通り得る最も外側の光が0次光と干渉できるためである。つまり、本発明では第2の透過領域を設けることで、この透過領域を通過する回折角の大きな光、すなわち標本のより微少な構造の情報を持つ光も観察像面に達するため、高い検出感度を得ることが出来る。したがって、本発明における図1(c)の光制御部材14を使用したときの方が、図9(c)の光制御部材を使用したときよりも検出感度の高い位相差効果が得られる。

【0023】特開昭51-128548号では、変調コントラストのための各光吸収領域が種々の位相変化作用を持つことが出来るとしていることは先にも述べた。しかし、本発明にあるような第2の透過領域を設け、さらに前述したような位置に配置することについては触れられておらず、さらには、この領域を設けることで高い位相差効果が得られることを示すには至っていない。したがって、本発明のように、第2の光吸収領域14bに隣接して第2の透過領域14dを設けることにより初めて、本来の変調コントラスト観察法と位相差観察法の両手法の効果を同時に実現することが出来る。すなわち、位相標本構造の端部まで鮮明化され、構造に陰がついたように見える立体感のある像が得られ、低屈折率物体や微小構造なども高い検出感度で観察することが出来る。

【0024】本発明の構成においては、位相変化作用を上記のように前記第1の光吸収領域に与えるのが望ましい。0次光と回折光との位相差を打ち消すには前記第1の光吸収領域には位相変化を与えず、その他の全領域に位相変化作用を与えるという方法もあるが光制御部材の製作上、コーティング工程が複雑となり効率が悪い。本発明の以上の構成において、前記第2の光吸収領域を遮光膜とし、前記第1の透過領域および前記第2の透過領域の透過率が90%以上であることが望ましい。これにより、さらにコントラストを高めることができるからである。

【0025】また、前記第1の光吸収領域と前記第2の光吸収領域が、光軸にほぼ垂直な方向に沿って配列されることが望ましい。これは、本発明によりコントラスト

が付くのは前記第 1 の光吸収領域と前記第 2 の光吸収領域とが配列される方向であるが、この方向に回折される回折光を最も多く取り得る方向が、光軸に垂直な方向であるからである。

$$W a / 2 < W b < 2 W a$$

を満たすことが望ましい。この条件を満たすことで最適な解像力とコントラストを得ることが出来る。Wb が 2 Wa を越える場合は、回折光の光量が低下するためコントラストが低下し、また、Wb が Wa / 2 を下回ると、立体感が薄れ、変調コントラスト効果が低下する。

【0027】さらには、前記開口が光軸を中心としたリングの一部を覆った形状であって、前記第 1 の光吸収領域及び前記第 2 の光吸収領域が光軸を中心としたリング形状であることが望ましい。これにより光制御部材上の各領域の配置が光軸に対して回転対称となり、開口形状に対して光制御部材の向きを調節する作業が不要となる。また、観察像のコントラストの付く方向を変えて観察したい場合にも、開口のみを回転させるだけで、光制御部材の向きを調節する必要がない。

【0028】次に、前記した第 2 の目的を達成するための手段における作用について図を用いて説明する。図 10 は、従来の位相差観察法による照明光学系において使用する複数の対物レンズのうち、最小の開口数を有する（一般には最も低倍率の）対物レンズ使用時の全体構成と構成要素を示している。図 10 (a) は、使用する複数の対物レンズのうち、最小の開口数を有する（一般には最も低倍率の）対物レンズ 10 L 使用時の、照明光学系の瞳位置 8 から結像光学系の瞳位置 11 までを示したものである。照明光学系の瞳位置 8 では、対物レンズ 10 L の NA に対応する径の光束 16 L の通過する領域が有効な領域となる。具体的には、低倍率対物レンズの開口数は小さいため、照明光学系の瞳位置では光軸付近の領域のみが有効となる。図ではこのときの光束 16 L を点線で示している。

【0029】一方、図 11 は高倍率対物レンズ 10 H 使用時について、図 10 と同様の光学系を示したものである。高倍率対物レンズの開口数は大きいので、照明光学系の瞳位置では、低倍率対物レンズ使用時よりも太い光束 16 H の通過する領域が有効となる。図ではこのときの光束 16 H を鎖線で示している。従来の位相差観察法において、結像光学系の瞳位置に配置されたリング状位相膜の径は、使用する対物レンズの瞳径に対して最適な位相差効果が得られるように、各対物レンズに対して設定されるため、この位相膜に対応するリングスリットの径も対物レンズの開口数によって異なるのが一般的である。図 10 (b)、図 11 (b) は、低倍率対物レンズ使用時、高倍率対物レンズ使用時のそれぞれについてのリングスリットを示していて、図 10 (c)、図 11

(c) は、対物レンズの瞳に配置される光制御部材（位相板）14 L、14 H を示している。したがって、対物

【0026】また、光軸に垂直な方向に対して、前記第 1 の光吸収領域の幅 Wa と前記第 2 の光吸収領域の幅 Wb が、

$$\dots\dots\dots (10)$$

レンズを交換するたびに、リングスリットも交換しなければならない。倍率を頻繁に切替えて観察を行なうような場合、リングスリットの交換は非常に煩雑なものとなる。これは位相差観察法に限らず、変調コントラスト法等、照明光学系の瞳位置に配置された開口と結像光学系の瞳位置に配置された光制御部材との組み合わせにより観察を行なう手法に共通の問題点である。

【0030】図 5 及び図 6 は、本発明に係る照明光学系を示している。図 5 (b) 及び図 6 (b) は瞳位置 8 に配置される開口を示したものであり、両者は全く同一である。図 5 (d) は、使用する対物レンズのうち最も開口数の小さいものを使用した場合に用いられる、結像光学系の瞳位置 11 に配置された光制御部材 14 L であり、図 6 (d) は、図 5 (b) 又は図 6 (b) の開口を用い、開口数の大きい、一般的には高倍率の対物レンズを使用する場合に用いられる光制御部材 14 H である。ここでは、図 5 (d) 及び図 6 (d) とともに開口 13 a に対応した径のリング形状の位相膜 14 e が配置されているが、第 1 の目的を達成するための手段である図 2

(b) の光制御部材を使用することもできる。また、図 5 (b) 或いは図 6 (b) の開口を低倍率対物レンズに対しても、高倍率対物レンズに対しても共通に使用することで、対物レンズの切替えに伴う開口の交換作業は全く不要となる。

【0031】1 つの開口を、使用する複数の対物レンズに対して共通に用いる場合、対物レンズが高倍率になるほど、光制御部材上で 0 次光が通過する領域が狭くなり、十分な光量を確保することができなくなる。このため、高倍率対物レンズに対しては開口面積をできるだけ大きくしたいが、その場合、低倍率対物レンズに対しては逆に光制御部材上の 0 次光の通過領域が大きくなり過ぎる。そこで、できるだけ広範囲の倍率の対物レンズに亘って 1 つの開口を共通に使用するために、図 5 (b) 又は図 6 (b) の開口 13 a は、16 L で囲まれた領域のうち、できるだけ光軸から離れた位置に配置する。具体的には式 (9) を満足する。

【0032】上記の構成において、開口の形状を通常の位相差観察法と同様のリング形状とした場合には、低倍率対物レンズ 10 L の使用時には図 10 (c) と比べて光制御部材 14 L 上で 0 次光の領域が大きくなり、最適な位相差効果を得るための 0 次光と回折光とのバランスがとれなくなる。したがって、上記の構成における開口 13 a の形状はリングの一部を覆った形状とし、これとリング形状の領域からなる光制御部材との組み合わせによる偏斜照明観察の構成をとることとする。開口領域の

形状は光軸に対して非対称であっても、光制御部材上の領域が光軸に対して回転対称であるので、開口と光制御部材との向きの調整等の必要はない。

【0033】開口をリングの一部を覆った形状にすることにより偏斜照明となるため、低倍率用に最適化されたリングスリットを用いる場合よりも高倍率観察時、低倍率観察時ともに解像力およびコントラストを高めることができる。また、式(9)を満たすことにより、各倍率で高い解像力で観察を行なうことが出来、より高い倍率の対物レンズを使用可能とすることができる。式(9)が満たされない場合は、特に高倍率観察時に有効なNAが小さくなり解像力が低下する。また、使用する複数の対物レンズのうち開口数が最小である対物レンズの使用時に限り、前記結像光学系の瞳上で、前記開口と共役な領域が前記瞳の最周縁またはその近傍に位置し、前記光制御部材上には、前記開口と共役な領域を包含し光軸を中心としたリング形状の光吸収領域を配置する構成とすることができる。ここで前記光吸収領域に位相変化作用を与えてもよい。この場合、開口数が最小の対物レンズに対しては、照明側の有効NAを最大限に設定したことになるので、使用する各対物レンズに対して最も解像力が高い開口の配置となる。このときの開口を図7(b)に示す。このとき開口数が最小の対物レンズにおいては、結像光学系の瞳面で、回折光のうち0次光に対して瞳の内側を通過する回折光は透過率が高く、反対側に回折された光は対物レンズに入射できない、つまり遮光されたのと同じ状態となるので、観察像では変調コントラスト効果が得られる。

【0034】また、前記開口が光軸を中心として回転可能であるように構成すれば、観察像のコントラストの付く方向を変えて観察したい場合には開口を回転させるだけで、光制御部材を一切調整する必要がない。以上の手段により、使用する複数の対物レンズに対して同一の開口を使用することができるので、対物レンズ変換時にも開口の交換作業が不要となる。さらに、第1の目的を達成するための手段を合わせて用いることにより、以上の作用に加え、高い感度の位相差効果と、鮮明な輪郭と立体感を与える変調コントラスト効果の両者を兼ね備えた観察像を得ることができる。

【0035】実施例

以下、本発明の実施例を図面に基づき説明する。初めに、本発明の第1の目的を実現するための実施例について説明する。図1は本発明に係る光制御部材を有する光学顕微鏡の全体構成、開口部材の開口、及び光制御部材を示したものであり、図2は本発明に係る光制御部材を有する光学顕微鏡における開口部材の開口及び光制御部材のその他の例を示した図である。図1(b)は開口部材13の一例を示したものであり、光の通過する領域(開口)を13aで示している。一方、図1(c)は本発明における光学顕微鏡において、図1(b)の開口

に対応した光制御部材の例を示したものである。この光制御部材は、第1の光吸収領域14a、第2の光吸収領域14b、第1の透過領域14c、第2の透過領域14dを有し、それぞれの透過率を順にTa、Tb、Tc、Tdとすると、

$$【0036】 0.1 < T_a < 0.4$$

$$T_b < 0.01$$

$$T_c = T_d > 0.9$$

のように設定することが出来る。また、第1の光吸収領域には、他の領域に対して $\pi/2$ の位相変化作用を与えている。なお、第1の透過領域14c及び第2の透過領域14dは、図1(c)のように独立に存在していても、図2(f)のようにそれぞれ繋がって1つの透過領域を構成するように配置されても良い。つまり、本発明の効果を得るためには、第1の光吸収領域14aに隣接した領域と、第2の光吸収領域14bに対して第1の光吸収領域14aとほぼ反対側であって、第2の光吸収領域14bに隣接した領域が、それぞれ透過領域となっていればよい。

【0037】図1(b)のような直線状開口と、図1(c)のような、光軸に対して非対称な形状の光制御部材を用いる場合、対物レンズ10の交換に伴い、開口13aと光制御部材上の領域14aが平行となるように光制御部材を回転させてその向きを調整する作業が必要となる。また、観察像のコントラストのつく方向を変えて観察したい場合、開口を回転させると共に光制御部材も回転させる必要があり、観察者は非常に面倒な作業を強いられる。そこで、図2(a)のように開口を光軸を中心とするリングの一部を覆った形状とし、光制御部材上の各領域を図2(b)のように光軸を中心としたリング形状とすることにより、上記の光制御部材の回転調整作業が不要となり、観察者の手間を省くことが出来る。

【0038】ところで、最適な効果を得るために第1の光吸収領域の幅Waと第2の光吸収領域の幅Wbが式(1.0)を満たすべきであることを既に述べた。これについて図2(a)の開口13aと図2(b)の光制御部材14を使用した場合について具体例を挙げる。なお、図2(c)は図2(b)の点線で囲まれた範囲を示している。図2(a)の開口13aからの光束がNA0.24~0.28の範囲にあるとする。コンデンサレンズ9及び対物レンズ10の焦点距離をそれぞれfc、foとし、図2(a)の開口13aの内径をri、外径をro、図2(c)の第1の光吸収領域の内径をra、外径をrb、第2の光吸収領域の外径をrcとする。このときri、roは、

$$【0039】 r_i = 0.24 f_c$$

$$r_o = 0.28 f_c$$

である。通常は光制御部材上で開口の共役像を完全に覆うように第1の光吸収領域を設けるため、上の値に比べてraはriよりやや小さくrbはroよりやや大きく

設定するのが普通である。そこで、

$$r_a = 0.23 f_o$$

$$r_b = 0.29 f_o$$

とする。ここで式(9)中の W_a 、 W_b は以下のように与えられる。

$$W_a = r_b - r_a = 0.06 f_o$$

$$W_b = r_c - r_b = r_c - 0.29 f_o$$

【0040】よって、式(9)から以下の条件が得られる。

$$0.03 f_o < W_b < 0.12 f_o$$

あるいは、

$$0.32 f_o < r_c < 0.41 f_o$$

つまり、上の条件を満たすように第2の光吸収領域の幅を設定することで、最適な効果が得られる。図2(b)の場合、第2の光吸収領域14bが配置される位置は、第1の光吸収領域14aの外側に示されているが、図2(d)のように内側にあっても良い。ただし、それぞれにおいて同一の開口、例えば図2(a)の開口を用いる場合、コントラストの付く方向は両者で逆となる。また、標本を照明する光量を増やすために図2(g)のよう

に開口13aを複数とし、それぞれの開口領域に合わせてコントラストの付き方が等しくなるように光吸収領域を配置することもできる。図2(h)にその一例を示す。図1では、本発明の光学顕微鏡の光学系が透過型の場合を示したが、図3のように落射型の場合についても透過型と同様な構成を用いることができる。

【0041】また、図4(a)に示すように、結像光学系の瞳位置11をリレーして、光制御部材を瞳リレー位置11'に配置することもできる。さらには、光制御部材上の領域の一部を瞳リレー位置11'に分割して配置

したりすることも出来る。図4(b)および図4(c)は、図2(b)に示した光制御部材上の第1の光吸収領域と第2の光吸収領域を、対物レンズ10の瞳位置11とリレーされた瞳位置11'とに分割して配置した例を示したものである。

【0042】次に、本発明の第2の目的を実現するための実施例について説明する。例として、使用する対物レンズが以下の4つである場合について説明する。

- [1] 倍率10倍、NA0.25
- [2] 倍率20倍、NA0.4
- [3] 倍率40倍、NA0.6
- [4] 倍率60倍、NA0.9

図5及び図6は、本発明に係る照明光学系を示している。図5(b)又は図6(b)は照明光学系の瞳位置8に配置される開口を示したものである。点線16Lは、使用する対物レンズのうち、開口数が最小である対物レンズ使用時の、対物レンズに入射可能な光束の範囲を示している。つまり、本実施例の[1]の対物レンズを使用したときの有効な光束を示している。また、鎖線16Hは、高倍率対物レンズ使用時の光束の範囲を示してい

る。ここでは[4]の対物レンズに対して有効な光束を示しているとする。ここで、図5(b)又は図6(b)の開口の一例として、開口13aがNA0.18~0.2の範囲にあるとする。このとき、 $NA_c = 0.2$ 、 $NA_o = 0.25$ であるから式(9)を満たしている。このとき光制御部材上の、開口と共役な領域を包含するリング形状の領域が覆うべき開口数の範囲を、各対物レンズの開口数に対する比率で表すと、

$$[0043] \quad [1'] \text{ 約 } 72 \sim 80 \%$$

$$[2'] \text{ 約 } 45 \sim 50 \%$$

$$[3'] \text{ 約 } 30 \sim 33 \%$$

$$[4'] \text{ 約 } 20 \sim 22 \%$$

となる。図5(d)及び図6(d)は、光制御部材上に、開口と共役な領域を包含するリング状位相膜を配置し、偏斜位相差観察を行う場合の模式図を、対物レンズ[1]、[4]の場合についてそれぞれ示している。したがって、図5(b)或いは図6(b)の開口を用いてこの開口を[1]~[4]の対物レンズに共通して使用することで、倍率を頻繁に切り換えて観察を行なう場合でも開口の交換作業をする必要がない。この実施例の場合は倍率10倍から60倍まで(開口数で0.25~0.9)の範囲で1つの開口を共通に使用して観察できる。また、光制御部材上の領域がリング形状であるため、開口が光軸に対して回転して配置されても光制御部材の位置を調整するような作業が不要である。よって、観察者の手間を大きく軽減して効率よく観察を行なうことができる。

【0044】また、開口形状はリングの一部を覆った形状であるので、低倍率対物レンズ使用時も高コントラストの位相差効果が得られる。また、上記の開口を用い、光制御部材として図2(b)に示したものをを用いることで、前述した、位相差効果と変調コントラスト効果を兼ね備えた観察を行なうことができる。つまり、開口の交換や調整等の作業が不要な上に、透明標本の構造を感度良く、鮮明な輪郭と立体感をもって観察することが出来る。このとき、対物レンズ[1]、[4]に対応する光制御部材を図5(e)及び図6(e)に夫々示す。また、いうまでもなく、使用する各倍率の対物レンズに対して用いられる光制御部材上の各領域の種類・形状・相対的位置を等しくすることで、コントラストの付き方等が、標本像の見え方を各倍率において共通とすることができる。図5(c)及び図6(c)は、図5(b)及び図6(b)の開口13aを夫々拡大して示した図であるが、図中の θ の設定により、偏斜効果の大きさが変わる。 θ の範囲としては $60^\circ \sim 120^\circ$ 程度が最も適当であると考えられる。 θ が 60° 未満では、偏斜の効果が僅かに高くなるものの光量が不足する。とくに高倍率対物レンズでは低倍率対物レンズよりも0次光領域の瞳に占める割合が小さくなるため、光量不足は顕著となる。一方、 θ が 120° 以上であると、偏斜の効果が薄

れ、像のコントラストが低下する。

【0045】ところで、以上のような構成の場合、前述したように高倍率観察時には観察像が暗くなりがちで、また0次光が光制御部材上で光軸に非常に近い領域を通過するため、解像力が得られ難く光制御部材による効果も低い。そこで図7(b)のように開口13aを結像光学系の瞳の最外周縁、つまり光束16Lの最も外側かその近傍に配置すると、図5(b)或いは図6(b)の開口を使用したときよりも高倍率対物レンズに対して光制御部材上の0次光通過領域が光軸から遠くなるので、偏斜効果が上がり解像力が増して、光制御部材による効果も高くなる。例として、先に挙げた[1]～[4]の対物レンズに対して、開口の一例としてNAが0.22～0.25の範囲にある図7(b)の形状の開口を用いる。このとき各対物レンズの位相膜あるいは図2(b)に示す光制御部材上の第1の光吸収領域が覆うべき開口数の範囲を、各対物レンズの開口数に対する比率で表すと、

【0046】[1"] 約88～100%

[2"] 約55～63%

[3"] 約37～42%

[4"] 約24～28%

となる。このときの、対物レンズ[4]に対して図2(b)の光制御部材を使用したときの模式図を図8(c)に示す。以上のように、[4']では0次光の通過領域が結像光学系の(対物レンズの)瞳の中心に偏っているが、[4"]では0次光の通過領域が光軸からより遠い場所に位置するため、光制御部材による効果が得られやすい。

【0047】ただし、図7(b)の開口を用いた場合は、低倍率観察時において、図2(b)に示したような光制御部材を使用することはできない。それは、図2(b)においては、光制御部材上の開口に対応する領域の更に外側に光吸収領域、透過領域を設ける構成を取っているためである。そこで、開口を図7(b)のように配置し、開口数が最小である対物レンズを使用する場合(ここでは対物レンズ[1]使用時)にのみ、図7

(c)のような光制御部材を用い、それ以外の対物レンズに対しては図2(b)に示した光制御部材を使用するという構成にすることが出来る。図7(c)の14fはリング形状の光吸収領域であり、この領域に位相変化作用を与えても良い。開口からの直接光はこの領域14fを通過する。この領域の外側の領域14foは対物レンズの瞳の外であり、光が通過することが出来ない一方、14fの内側の領域14fiの透過率を高く設定すると、これらの領域は通常の変調コントラストと同様の構成となるため、変調コントラスト効果を得ることが出来る。したがって、図7(b)の開口により、高倍率対物レンズ使用時も観察手法の効果を損なうことなく、低倍率対物レンズから高倍率対物レンズまで1つの開口を共

通に使用でき、最小の開口数を有する対物レンズの使用時には変調コントラスト効果が、それ以外の対物レンズに対しては位相差効果と変調コントラスト効果の両者を同時に得ることが出来る。

【0048】以上説明したように、本発明に係る光制御部材を有する光学顕微鏡は、特許請求の範囲に記載された特徴の他に、下記の特徴を有する。

(1) 前記第1の光吸収領域が、位相変化作用を有することを特徴とする、請求項1に記載の光学顕微鏡。

【0049】(2) 前記第2の光吸収領域を遮光膜とし、前記第1の透過領域および前記第2の透過領域の透過率が90%以上であることを特徴とする、請求項1または上記(1)に記載の光学顕微鏡。

【0050】(3) 前記第1の光吸収領域と前記第2の光吸収領域が、光軸にほぼ垂直な方向に沿って配列されることを特徴とする、請求項1、上記(1)及び上記(2)の何れかに記載の光学顕微鏡。

【0051】(4) 前記方向に対する前記第1の光吸収領域の幅Waと前記第2の光吸収領域の幅Wbが、

$W_a/2 < W_b < 2W_a$

を満たすことを特徴とする、上記(3)に記載の光学顕微鏡。

【0052】(5) 前記開口は、光軸を中心としたリングの一部を覆った形状であり、前記第1の光吸収領域及び前記第2の光吸収領域が光軸を中心としたリング形状であることを特徴とする、請求項1、上記(1)乃至(4)の何れかに記載の光学顕微鏡。

【0053】(6) 前記第2の光吸収領域が、光軸に対して前記第1の光吸収領域の外側に配置され、前記開口の最も内側を通る光線が標本面において取り得る開口数をNAc、使用する複数の対物レンズの各々の開口数のうち最小値をNAoとしたとき、
 $NAc > 0.7NAo$

が成立し、使用する複数の異なる倍率の対物レンズに対して、1つだけの前記開口を共通に使用することを特徴とする、上記(5)に記載の光学顕微鏡。

【0054】(7) 使用する複数の対物レンズのうち開口数が最小である対物レンズの使用時に限り、前記結像光学系の瞳上で、前記開口と共役な領域が前記瞳の最周縁またはその近傍に位置し、前記光制御部材上には、前記開口と共役な領域を包含し光軸を中心としたリング形状の光吸収領域を配置したことを特徴とする、上記

(6)または請求項2に記載の光学顕微鏡。

【0055】(8) 前記光吸収領域が位相変化作用を有することを特徴とする、上記(7)に記載の光学顕微鏡。

【0056】(9) 前記開口は、光軸を中心として回転可能であることを特徴とする、請求項2、上記(5)乃至(8)の何れかに記載の光学顕微鏡。

【0057】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように本発明によれば、光制御部材上の開口と共役な領域を第1の光吸収領域とし、これに位相変化作用をもたせ、この領域に隣接してさらに透過率の低い第2の光吸収領域を配置し、第2の光吸収領域に対して第1の光吸収領域とほぼ反対側に第2の光吸収領域と接するように透過領域を設けることで、変調コントラスト観察法で得られる像の立体感や標本構造の端部の鮮明化の効果に加え、位相差観察法の高感度観察という、両手法のもつそれぞれの効果を兼ね備えた顕微鏡観察を行うことが出来る。また、使用する複数の対物レンズのうち最小の開口数を有する対物レンズに対応して開口を設定し、この開口を、使用する各対物レンズに対して共通に用いることで、従来の位相差観察法や変調コントラスト法で対物レンズの交換時に必要であった開口の交換・調整作業を不要とし、倍率を頻繁に変換して観察する場合の観察者の手間を大きく省くことが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る光制御部材を有する光学顕微鏡の光学系を示す説明図であって、(a)は全体構成、(b)は開口部材、(c)は光制御部材を示す。

【図2】本発明に係る光制御部材を有する光学顕微鏡における開口部材の開口、及びそれに対応する光制御部材を示す説明図であって、(a)、(e)、(g)は様々な形状の開口、(b)、(f)、(h)は夫々対応する光制御部材、(d)は(a)の開口に対応した光制御部材の他の例、(c)は(b)の点線部を示す。

【図3】本発明を落射光学系に応用した場合を示す説明図である。

【図4】本発明の結像光学系にリレー光学系を付加した場合を示す説明図であって、(a)は全体構成、(b)は光制御部材、(c)は分割された光制御部材を示す。

【図5】本発明の第2の目的を達成するための低倍率対物レンズを使用した場合の光学系を示す説明図であって、(a)は全体構成、(b)は開口部材、(c)は開口の詳細、(d)は光制御部材、(e)は(d)に図2(b)を応用した例を示す。

【図6】本発明の第2の目的を達成するための高倍率対物レンズを使用した場合の光学系を示す説明図であって、(a)は全体構成、(b)は開口部材、(c)は開口の詳細、(d)は光制御部材、(e)は(d)に図2(b)を応用した例を示す。

【図7】本発明の第2の目的を達成するための低倍率対物レンズを使用した場合の光学系で、開口に他の例を用いた場合を示す説明図であって、(a)は全体構成、(b)は開口部材、(c)は光制御部材を示す。

【図8】本発明の第2の目的を達成するための高倍率対物レンズを使用した場合の光学系の開口に他の例を用いた場合を示す説明図であって、(a)は全体構成、(b)は開口部材、(c)は光制御部材を示す。

【図9】従来の変調コントラスト観察法で用いられる光学系であって、(a)は全体構成、(b)は開口部材、(c)は光制御部材を示す。

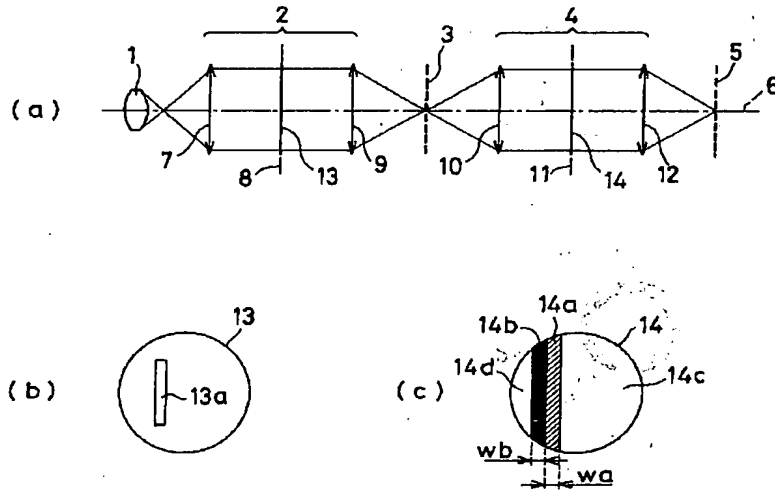
【図10】従来の低倍率対物レンズ使用時の光学系であって、(a)は全体構成、(b)はリング状開口を有する開口部材、(c)は光制御部材を示す。

【図11】従来の高倍率対物レンズ使用時の光学系であって、(a)は全体構成、(b)はリング状開口を有する開口部材、(c)は光制御部材を示す。

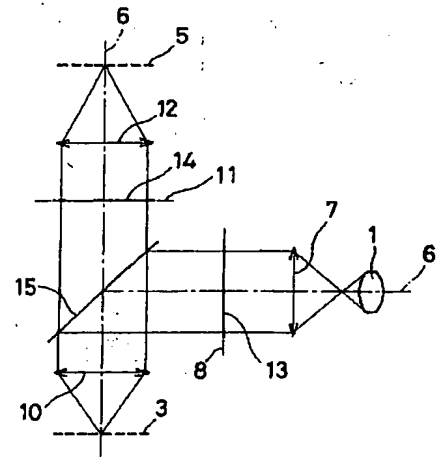
【符号の説明】

1	光源
2	照明光学系
3	標本
4	結像光学系
5	観察像
6	光軸
7	コレクタレンズ
8	照明光学系の瞳位置
9	コンデンサレンズ
10	対物レンズ
11	結像光学系の瞳位置
12	結像レンズ
13	開口部材
13 a	開口
14	光制御部材
14 a, 14 a'	第1の光吸収領域
14 b, 14 b'	第2の光吸収領域
14 c, 14 c'	第1の透過領域
14 d	第2の透過領域
14 e	位相膜
14 L	光制御部材
14 H	光制御部材
14'	分割された光制御部材
15	ハーフミラー
16 L, 16 H	光束
40 Wa	第1の光吸収領域の幅
Wb	第2の光吸収領域の幅
ra	第1の光吸収領域の内径
rb	第1の光吸収領域の外径
rc	第2の光吸収領域の外径
ri	開口の内径
ro	開口の外径

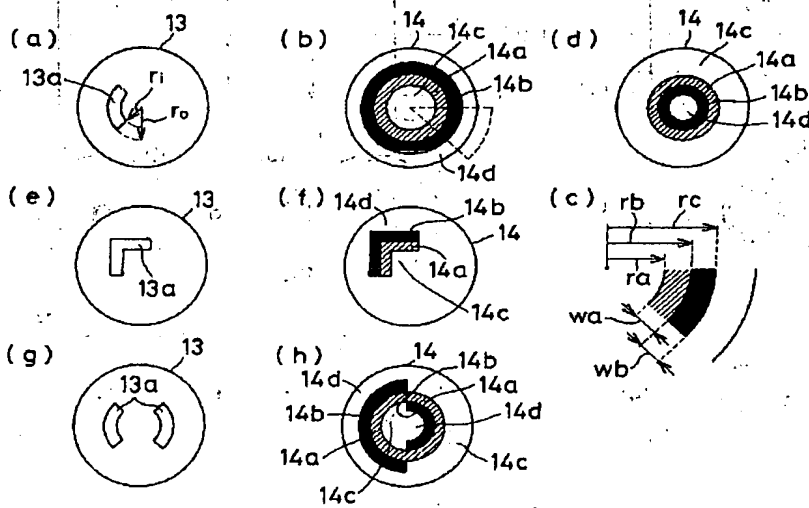
【図 1】



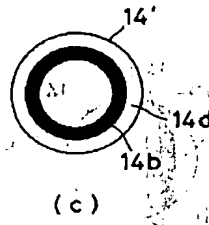
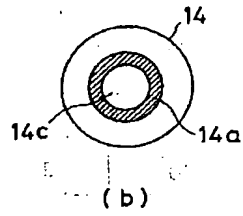
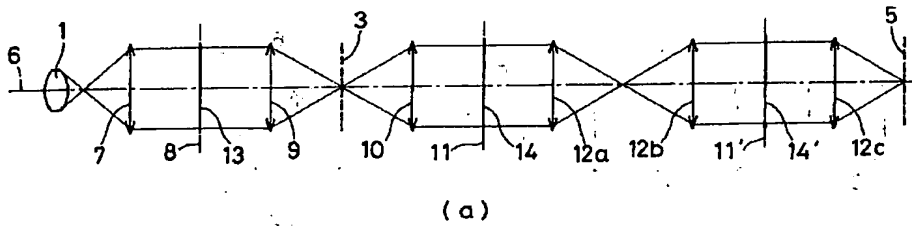
【図 3】



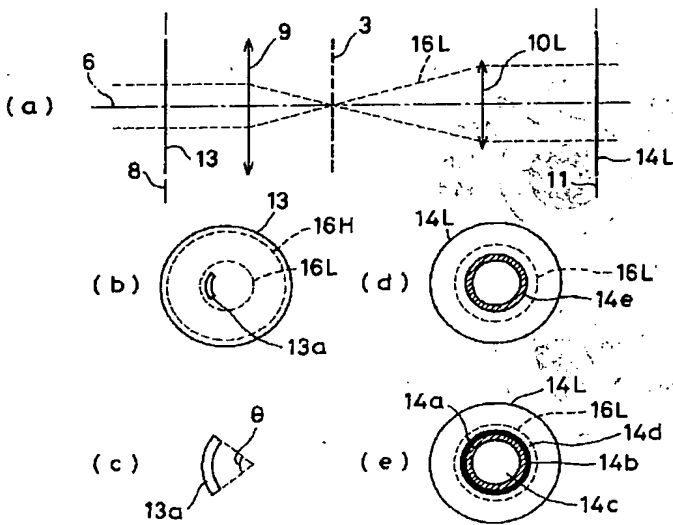
【図 2】



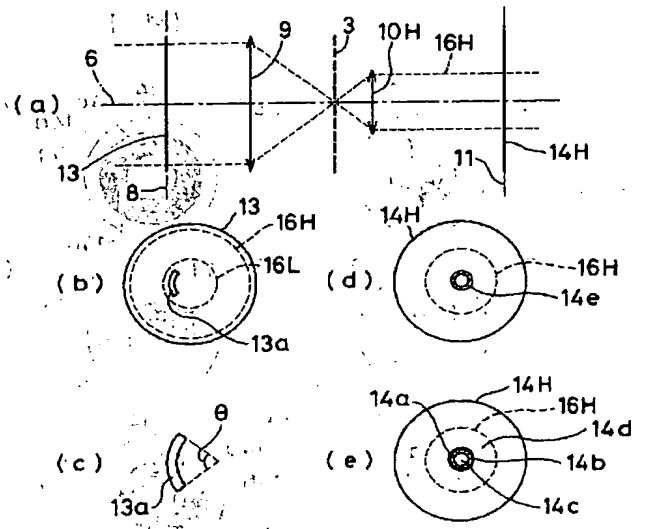
【図 4】



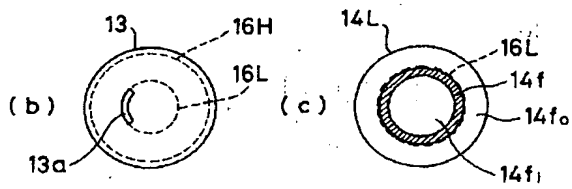
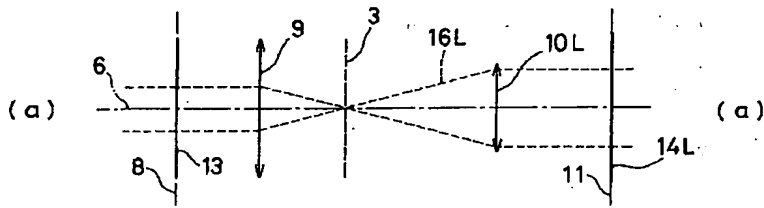
【図 5】



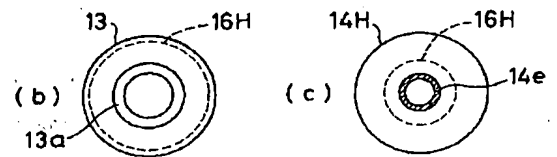
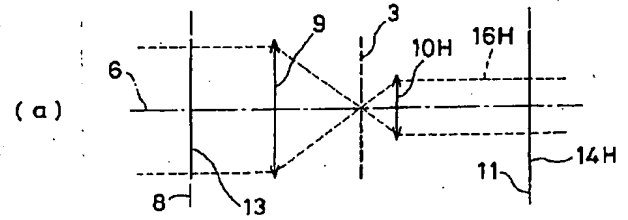
【図 6】



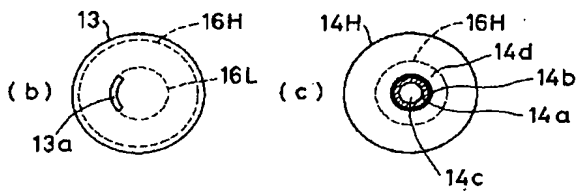
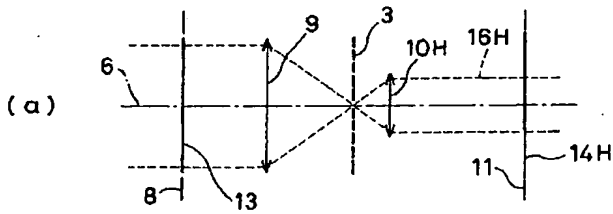
【図 7】



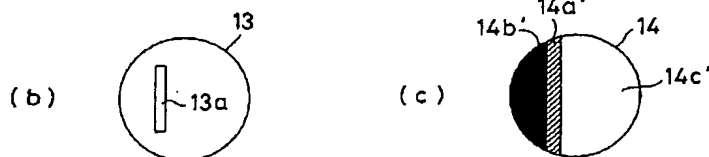
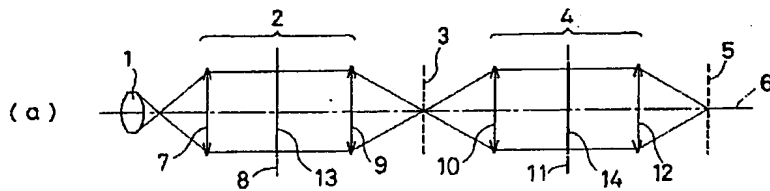
【図 11】



【図 8】



【図 9】



【図 10】

